

## Simulasi Komputer pada Optimasi Desain *Hybrid Plating* dalam Proses *Bone Healing*

Mohamad Irkham Mamungkas, Moch. Agus Choiron, Wahyono Suprpto  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jln. Mayjend Haryono 167, Malang 65145. Indonesia  
Email : gamoeng@gmail.com

### Abstract

*Hybrid plating method that combine locking screw and non-locking screw usually used for healing on bone fracture. This method used in order to get the smallest deflection and prevent pull out. The research purposed to obtain the optimal parameter design locking screw, such as position of locking screw, thickness and width plates by using Taguchi method which obtained level and variations factor. The material used in this study for screw and the plate were stainless steel SS 316 L. The load model used axial load of 1000 N. The number of hole plates were 8, which 4 holes in each section. In one section consist of locking screw and non locking screw. Quasi experimental model applied ANSYS Workbench 14.5 finite element software. Results showed the optimum design was 3 locking screws in the left position, the thickness 4 mm and a width of plate 16 mm. The optimum design produce 0,039507 mm of average deflection and it can be denoted that failure and pull out was not occurred.*

**Keywords** : *Hybrid Plating, Simulation, Deflection, Pull Out*

### PENDAHULUAN

Dalam menjalankan aktivitas sehari-hari manusia tidak bisa terlepas dari fungsi tulang. Namun akibat dari aktivitas manusia itu sendiri, fungsi tulang dapat terganggu karena mengalami fraktur. Fraktur atau patah tulang adalah terputusnya kontinuitas jaringan tulang atau tulang rawan yang umumnya disebabkan oleh rudapaksa [1]. Salah satu kasus patah tulang yang sering terjadi adalah kasus patah tulang paha. Tulang paha termasuk tulang panjang yang bersendi ke atas dengan *pelvis* dan ke bawah dengan tulang *tibia* [2]. Salah satu penyebab patah tulang adalah *osteoporosis*. Berdasarkan data *World Health Organization*, pada tahun 2000 diperkirakan hampir 9 juta pria dan wanita usia  $\geq 50$  tahun di dunia mengalami *osteoporosis* [3].

Pada umumnya penanganan medis untuk mengatasi permasalahan patah tulang adalah dengan menggunakan *bone screw*. *Bone screw* adalah sekrup khusus untuk tulang yang dikombinasikan dengan pelat penyangga. Ada dua macam *bone screw* yang digunakan saat ini, yaitu *locking screw* dan *non-locking screw*. Pengembangan model *bone screw* adalah *hybrid plating* yaitu

kombinasi *locking screw* dan *non-locking screw*. *Hybrid plating* haruslah memiliki kekuatan defleksi yang baik. Defleksi pada pelat ini ditandai dengan terjadi atau tidaknya *pull out*. *Pull out* adalah keluarnya *screw* dari lubang *screw* akibat tidak mampu menahan tegangan yang terjadi. Hal ini bisa mengakibatkan kegagalan pada proses *bone healing* dan rasa sakit bagi penderita.

Dari beberapa penelitian didapat bahwa penggantian satu *locking screw* dengan *non-locking screw* justru dapat menurunkan resiko terjadinya fraktur pada *locking plate* [4]. Selain itu jumlah *locking screw* pada tiap segmen pelat juga akan sangat berpengaruh terhadap kemungkinan terjadinya *pull out* yang ditandai dengan besarnya defleksi yang terjadi [5].

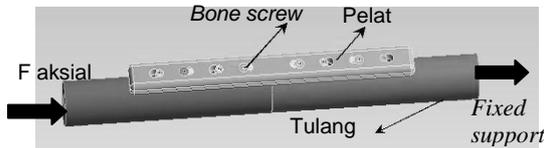
Dari latar belakang tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *hybrid plating* dengan jumlah dan letak *screw* yang bermacam-macam. Pengaruh tebal dan lebar pelat juga akan dianalisa dengan bantuan metode Taguchi agar didapatkan desain yang optimal untuk menurunkan kemungkinan terjadinya *pull out*.

**METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental semu (simulasi dengan komputer) dengan menggunakan software ANSYS Workbench 14.5. Pada pemodelan yang dilakukan material sekrup (*bone screw*) dianggap *rigid body*, pelat merupakan *bilinier kinematic hardening*, dan tulang dianggap *isotropic*.

**Pemodelan Hybrid Plating**

Pemodelan pada penelitian ini menggunakan software ANSYS dimana beban sebesar 1000 N diberikan ke salah satu sisi dari pelat tersebut. Model tumpuan yang digunakan adalah *fix support* untuk sisi yang lain. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Pemodelan *hybrid plating*

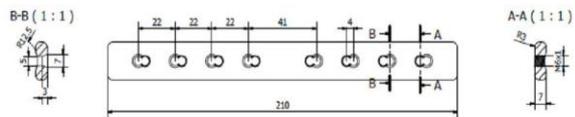
Bahan yang digunakan sebagai simulasi adalah *stainless steel SS 316 L* dimana *material properties* ditunjukkan pada tabel 1 [6]. Material ini digunakan karena *yield strength* dan *compressive strength* yang tinggi serta merupakan jenis *stainless steel* yang relatif aman bagi tubuh sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** *Material properties* untuk pelat dan *screw*

Physical Properties	
Density (kg/m <sup>3</sup> )	8000
Poisson's Ratio	0.30
Young Modulus (GPa)	193
Yield Strength (MPa)	290
UTS (MPa)	485
Compressive Strength (MPa)	570

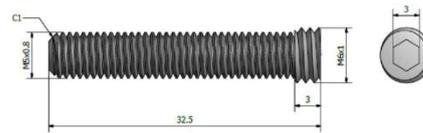
Pemodelan pelat sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2 memiliki 8 lubang *screw* yang terdiri dari 2 segmen, dimana pada tiap segmen terdiri dari 4 lubang yang

diisi dengan *locking screw* dan *non locking screw*.

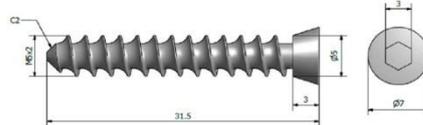


**Gambar 2.** Dimensi pelat

Dimensi *bone screw* terdiri dari dua jenis *screw*, yaitu *locking screw* pada gambar 3 dengan kepala *screw* yang berulir dan *non-locking screw* pada gambar 4. Dimana yang membedakan dari kedua jenis *screw* ini adalah bentuk ulir dan kepala *screw*. Untuk *locking screw* ulirnya lebih halus dan pada kepala *screw* ada ulir agar membuat *screw* terkunci pada pelat, yang biasanya digunakan untuk tulang yang tidak baik atau keropos. Sedangkan *non locking screw* ulirnya lebih kasar dan pada kepala *screw* tidak berulir, yang biasanya digunakan untuk tulang yang baik dan tidak keropos.



**Gambar 3.** Dimensi *locking screw*



**Gambar 4.** Dimensi *non-locking screw*

Pada simulasi yang dilakukan, tulang yang digunakan sesuai dengan Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design yang memiliki *material properties* seperti pada tabel 2. Sedangkan dimensi tulang dapat dilihat pada gambar 5.

**Tabel 2.** *Material properties* untuk tulang

Physical Properties	
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1950
Poisson's Ratio	0,39
Young Modulus (GPa)	17,4
Yield Strength (MPa)	115
UTS (MPa)	133
Compressive Strength (MPa)	195



Gambar 5. Dimensi tulang

**Metode Taguchi**

Pada *hybrid plating* ada beberapa parameter yang berpengaruh terhadap besarnya defleksi yang terjadi, yaitu posisi *locking screw*, jumlah *locking screw*, tebal pelat, dan lebar pelat. Metode Taguchi digunakan untuk mereduksi variasi dan mendapatkan hasil yang optimal, sehingga dapat menekan biaya dan meminimalkan waktu yang diperlukan [7].

Pada penelitian ini hanya menggunakan tahapan hingga perancangan parameter saja. Karena metode Taguchi digunakan untuk menyederhanakan jumlah variasi dari beberapa parameter yang ada [8]. Selain itu biaya juga akan meningkat apabila tahapan dilakukan hingga tahap perancangan toleransi [9].

Dari metode Taguchi yang digunakan diperoleh rancangan parameter yang terdiri dari 4 faktor dengan masing-masing faktor terdiri dari 3 level, namun ada 1 faktor yang memiliki 2 level. Sebagaimana dinyatakan seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Faktor dan Level

Faktor	Level		
	1	2	3
A	Kanan	Kiri	-
B	1	2	3
C	4	4.5	5
D	14	16	18

Keterangan:

A = Posisi *locking screw*, dimana posisi kanan berarti *screw* terletak di bagian kanan dari segmen, dan sebaliknya

B = Jumlah *locking screw* tiap segmen

C = Tebal pelat (mm)

D = Lebar pelat (mm)

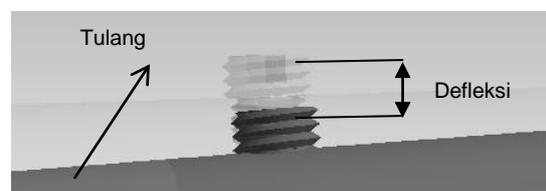
Dari tabel 3 maka diperlukan suatu matriks dimana kolom merupakan faktor yang

dapat diubah dan baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen [10]. Karena ada satu faktor yang hanya memiliki 2 level sedangkan 3 faktor memiliki 3 level, maka digunakan *Dummy Treatment* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

*Dummy* ini merupakan replikasi yang diperlukan akibat adanya satu faktor yang hanya memiliki 2 level, sebagaimana ditunjukkan sebagai 1' seperti terlihat pada Tabel 4. Besarnya defleksi merupakan salah satu indikasi kemungkinan terjadi atau tidaknya *pull out* pada *hybrid plating*. Sebagaimana terlihat pada salah satu contoh defleksi yang terjadi pada salah satu variasi seperti pada gambar 6. Karena belum ada parameter nilai besarnya defleksi sebagai penentuan terjadi atau tidaknya *pull out*, maka nilai rata-rata defleksi pada setiap variasi dihitung untuk mencari desain optimal yang memiliki kemungkinan terkecil terjadinya *pull out*.

Tabel 4. Taguchi Test Matrix dengan *dummy*

TRIAL	FAKTORISASI				Defleksi / pull out (D)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	D <sub>1</sub>
2	1	2	2	2	D <sub>2</sub>
3	1	3	3	3	D <sub>3</sub>
4	2	1	2	3	D <sub>4</sub>
5	2	2	3	1	D <sub>5</sub>
6	2	3	1	2	D <sub>6</sub>
7	1'	1	3	2	D <sub>7</sub>
8	1'	2	1	3	D <sub>8</sub>
9	1'	3	2	1	D <sub>9</sub>



Gambar 6. Perhitungan defleksi yang terjadi

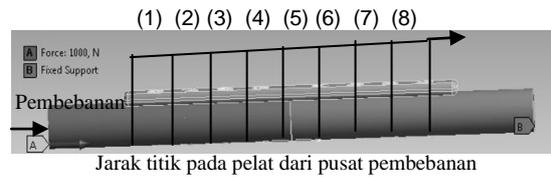
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Defleksi yang terjadi**

Defleksi pada penelitian ini diambil sepanjang pelat dari ujung pelat yang mendekati pusat pembebanan hingga ujung pelat yang lain. Titik-titik yang diukur besarnya

defleksi adalah titik yang paling mendekati setiap lubang screw sepanjang pelat, karena kemungkinan terjadinya *pull out* di sekitar titik setiap lubang screw yang ditunjukkan pada gambar 7.

Dari hasil simulasi diperoleh defleksi yang terjadi seperti terlihat pada tabel 5.



Gambar 7. Pengambilan besar defleksi

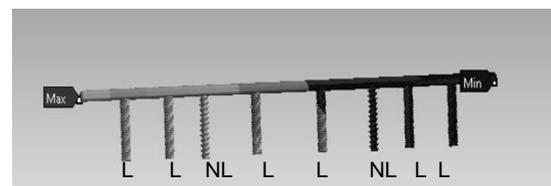
Tabel 5 Defleksi yang terjadi

Titik [mm]	Defleksi [mm]								
	variasi (1)	variasi (2)	variasi (3)	variasi (4)	variasi (5)	variasi (6)	variasi (7)	variasi (8)	variasi (9)
(1) 23,333	0,12687	0,12166	0,12233	0,12246	0,1167	0,12687	0,12166	0,12233	0,12246
(2) 46,667	0,09577	0,09119	0,09148	0,09138	0,08696	0,09577	0,09119	0,09148	0,09138
(3) 70	0,06909	0,06502	0,06531	0,06492	0,06178	0,06909	0,06502	0,06531	0,06492
(4) 93,333	0,04701	0,04356	0,04364	0,04312	0,04094	0,04701	0,04356	0,04364	0,04312
(5) 116,67	0,02993	0,02715	0,0271	0,02662	0,02535	0,02993	0,02715	0,0271	0,02662
(6) 140	0,01744	0,01561	0,0156	0,01531	0,01495	0,01744	0,01561	0,0156	0,01531
(7) 163,33	0,01074	0,01027	0,01021	0,01028	0,01043	0,01074	0,01027	0,01021	0,01028
(8) 186,67	0,00907	0,00945	0,00951	0,00967	0,00989	0,00907	0,00945	0,00951	0,00967
Rata <sup>2</sup>	0,0451	0,04266	0,0428	0,04264	0,04078	0,0451	0,04266	0,0428	0,04264

Dari tabel 5 terlihat bahwa pada semua variasi semakin jauh dari pusat pembebanan besarnya defleksi yang terjadi semakin kecil dan memiliki trend data yang hampir sama. Karena di setiap titik pada semua variasi tidak terjadi *pull out*, maka dari itu digunakan rata-rata besarnya defleksi untuk mengetahui variasi yang memiliki defleksi rata-rata yang terkecil sebagai tanda kemungkinan terjadinya *pull out* yang juga semakin kecil. Dari 8 titik yang telah ditentukan diambil rata-rata pada setiap variasinya. Defleksi yang terbesar terjadi pada titik 23,333 mm pada variasi 1 sebesar 0,12687 mm. Defleksi rata-rata yang terbesar terjadi pada variasi 1, yaitu sebesar 0,045101 mm sedangkan defleksi rata-rata yang terkecil terjadi pada variasi 6, yaitu sebesar 0,039507 mm.

Dari sembilan variasi, variasi 1 (kanan, 1, 4mm, 14mm) memiliki nilai rata-rata defleksi yang paling besar dibanding variasi yang lain, yaitu sebesar 0,045101 mm. Hal ini disebabkan karena pada variasi ini memiliki dimensi luas penampang pelat yang paling kecil, yaitu 56 mm<sup>2</sup>. Hal ini sesuai dengan rumus besarnya defleksi yaitu  $\delta = F.L / A.\sigma_{ijin}$ , dimana besarnya defleksi berbanding

terbalik dengan luas penampang pelat. Sehingga defleksi yang terbesar dimiliki oleh variasi dengan dimensi pelat yang terkecil, yaitu variasi 1.



Gambar 8. Konfigurasi pada variasi 6

Pada gambar 8 terlihat bahwa pada variasi 6 (kiri, 3, 4mm, 16mm) adalah variasi yang memiliki defleksi terkecil, yaitu 0,039507 mm. Pada variasi (6) terdapat 1 buah *locking screw* mendekati bagian tengah atau daerah patahan dengan konfigurasi L – L – NL – L – L – NL – L – L. Hal ini disebabkan karakteristik dari *locking screw* yang mengunci pelat, sehingga menyebabkan pada variasi (6) memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan variasi yang lain. Dengan kakunya pemasangan pelat pada tulang patah maka pemodelan ini akan menjadi lebih kuat

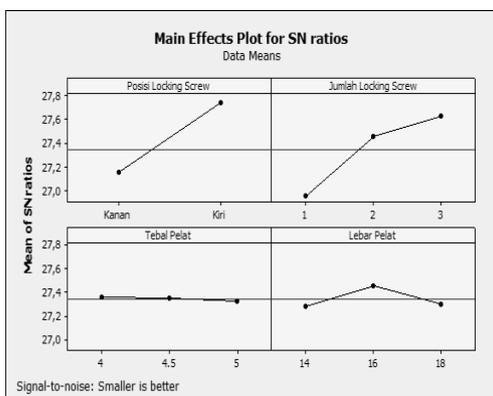
apabila mendapatkan beban secara aksial dan resiko *pull out* yang terjadi akan semakin kecil daripada variasi yang lainnya. Sehingga variasi (6) lebih baik dibandingkan variasi yang lain untuk variasi pemasangan *screw* pada *hybrid plating*.

**Optimasi Desain dengan Metode Taguchi**

Metode Taguchi DOE (*Design of Experiment*) digunakan untuk mengevaluasi parameter yang berpengaruh dalam mendesaian *hybrid plating* dan memprediksi desain yang paling optimum. Karena kemungkinan terjadinya *pull out* terjadi pada titik yang mendekati bagian tengah atau daerah patah pada tulang, maka akan diambil data *mean of SN ratios* pada titik (4) yang berjarak 93,333 mm dan titik (5) yang berjarak 116,67 mm dari ujung pelat yang mendekati pusat pembebanan.

**Tabel 6** Test Matrix *L9* pada titik (4) 93,333 mm

TRIAL	FAKTORISASI				Defleksi (mm)
	A	B	C	D	
1	Kanan	1	4	14	0,047011
2	Kanan	2	4,5	16	0,04356
3	Kanan	3	5	18	0,04364
4	Kiri	1	4,5	18	0,04311
5	Kiri	2	5	14	0,04094
6	Kiri	3	4	16	0,039152
7	Kanan	1	5	16	0,04461
8	Kanan	2	4	18	0,04274
9	Kanan	3	4,5	14	0,04204



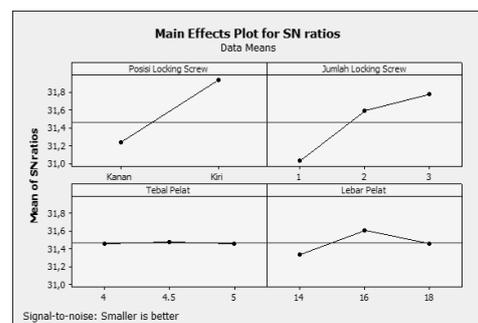
**Gambar 9.** Main effect plot pada jarak 93,33 mm

Pada gambar 9 dan 10 didapatkan grafik yang relatif sama, sehingga pemilihan *setting* optimumnya yaitu dengan memilih nilai yang paling besar (tidak tergantung pada karakteristik kualitasnya) pada setiap faktor yang terdapat pada gambar. Maka *setting* optimumnya adalah:

- Posisi LS: Level 2 (Kiri)
- Jumlah LS: Level 3 (3 buah)
- Tebal Pelat: Level 1 (4 mm)
- Lebar Pelat: Level 2 (16 mm)

**Tabel 7** Test Matrix *L9* pada titik (5) 116,67 mm

TRIAL	FAKTORISASI				Defleksi (mm)
	A	B	C	D	
1	Kanan	1	4	14	0,029925
2	Kanan	2	4,5	16	0,027152
3	Kanan	3	5	18	0,0271
4	Kiri	1	4,5	18	0,02661
5	Kiri	2	5	14	0,02535
6	Kiri	3	4	16	0,024038
7	Kanan	1	5	16	0,02785
8	Kanan	2	4	18	0,02643
9	Kanan	3	4,5	14	0,02626



**Gambar 10.** Main effect plot pada 116,67 mm

**Data dan Pembahasan Tegangan Maksimal**

Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi dari tegangan *yield* bahan, karena apabila melebihi tegangan *yield* bahan, maka akan terjadi kegagalan.

**Tabel 8** Data Tegangan pada *hybrid plating*

Trial	Equivalent Stress (MPa)	
	Max	Min
Variasi 1	73,36	0,053
Variasi 2	67,062	0,0112
Variasi 3	72,383	0,0361
Variasi 4	145,27	0,0449
Variasi 5	90,602	0,0691
Variasi 6	104,88	0,0093
Variasi 7	81,495	0,0486
Variasi 8	79,845	0,0215
Variasi 9	69,997	0,0695

Dari tabel 8 dapat diketahui bahwa semua data tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan *yield* untuk pelat dan *screw*. Berdasarkan data Von Mises yang digunakan tegangan yang terjadi masih berada dititik aman yaitu di bawah 290 MPa. Nilai tegangan tertinggi pada tegangan total adalah variasi (4) yaitu sebesar 145,27 MPa lalu diikuti dengan variasi (6) sebesar 104,88 MPa, variasi (5) sebesar 90,602 MPa, variasi (7) sebesar 81,495 MPa, variasi (8) sebesar 79,845 MPa, variasi (1) sebesar 73,36 MPa, variasi (3) sebesar 72,383 MPa, variasi (9) sebesar 69,997 MPa, dan yang terakhir dan terkecil adalah variasi (2) sebesar 67,062 MPa. Sehingga terlihat bahwa tegangan tertinggi terjadi pada pelat yaitu sebesar 145,27 MPa. Dimana tegangan ini masih berada di bawah *yield strength* pelat yang bernilai 290 MPa. Sehingga dapat diprediksi meskipun terjadi tegangan yang cukup besar, namun tidak terjadi kegagalan pada pelat.

### KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan analisa percobaan maka didapat kesimpulan bahwa parameter desain *Hybrid Plating* yang menghasilkan desain optimum adalah dengan jumlah *locking screw* 3 buah dan terletak di kiri (mendekati pusat pembebanan), dan memiliki tebal pelat 4 mm dan lebar pelat 16 mm, dengan defleksi rata-rata sebesar 0,039507 mm.

### Daftar Pustaka

- [1] Mansjoer, Arif et al. (2000). Kapita Selekta Kedokteran, Jilid II. Medika Aesculapius FKUI. Jakarta.
- [2] Platzer W. (1993). Atlas Dan Buku Teks Anatomi Manusia, bagian 2. EGC Jakarta.
- [3] *World Health Organization. (2007). WHO group on the assessment of osteoporosis at primary care level. WHO Press. Geneva.*
- [4] Bottlang, Michael. 2009. *A Nonlocking End Screw Can Decrease Fracture Risk Caused by Locking Plating in the Osteoporotic Diaphysis. Jurnal.*
- [5] Freeman Andrew L. 2010. *How Much Do Locked Screws Add to the Fixation of "Hybrid" Plate Construct in Osteoporotic Bone. Jurnal.*
- [6] Amalraju D. 2012. *Mechanical Strength Evaluation Analysis of Stainless Steel and Titanium Locking Plate for Femur Bone Fracture. Jurnal.*
- [7] Nair, Vijayan N. 1992. *Center For Quality and Productivity Improvement. University Of Wisconsin. USA.*
- [8] Besterfield, T.P. 1993. *Taguchi Method Explained: Practical Step to Robust Design. Prentice Hall of India Privative Limited. New Delhi.*
- [9] Ross, P. J. 1996. *Taguchi Techniques for Quality Engineering, Second Edition. Mc Graw-Hill Companies Inc. New York.*
- [10] Soejanto, Iwan. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. Graha Ilmu. Yogyakarta.*